

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI TERHADAP KETEBALAN
DAN NILAI IMPEDANSI LAPISAN POLIANILIN (PANI)
DENGAN METODE EVAPORASI**

SKRIPSI

oleh:

ERMITHA YULISETIANA

145090301111015



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI TERHADAP KETEBALAN
DAN NILAI IMPEDANSI LAPISAN POLIANILIN (PANI)
DENGAN METODE EVAPORASI**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
dalam bidang fisika

oleh:

ERMITHA YULISETIANA
145090301111015



JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**PENGARUH WAKTU DEPOSISI TERHADAP KETEBALAN
DAN NILAI IMPEDANSI LAPISAN POLIANILIN (PANI)
DENGAN METODE EVAPORASI**

oleh:

**ERMITHA YULISETIANA
145090301111015**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

Pembimbing I**Pembimbing II**

Dr. Eng. Masruroh, M.Si
NIP. 197512312002122002

Ir. D. J. Djoko H. S, Ph. D
NIP. 196601311990021001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan S1 Fisika
Fakutas MIPA Universitas Brawijaya**

Prof.Dr.rer.nat. Muhammad Nurhuda
NIP.196409101990021001



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ermitha Yulisetiana
NIM : 145090301111015
Program Studi : Fisika
Penulis skripsi berjudul :

**PENGARUH WAKTU DEPOSISI TERHADAP KETEBALAN
DAN NILAI IMPEDANSI LAPISAN POLIANILIN (PANI)
DENGAN METODE EVAPORASI**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

- 1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai acuan atau referensi.**
- 2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.**

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang, Juli 2018
Yang menyatakan,**

**(Ermitha Yulisetiana)
NIM. 145090301111015**



PENGARUH WAKTU DEPOSISI TERHADAP KETEBALAN DAN NILAI IMPEDANSI LAPISAN POLIANILIN (PANI) DENGAN METODE EVAPORASI

ABSTRAK

Quartz Crystal Microbalance (QCM) bekerja dengan memanfaatkan prinsip pergeseran frekuensi pada kristal kuarsa akibat adanya deposisi massa di permukaan kristalnya. Sensor QCM dapat dimanfaatkan sebagai sensor gas aroma. Dalam aplikasinya sebagai sensor, QCM harus dilapisi terlebih dahulu. Bahan yang digunakan untuk pelapisan yaitu polianilin (PANi). Pada penelitian ini, digunakan metode evaporasi untuk deposisi lapisan PANi di permukaan polistirena/QCM dengan waktu vakum 1 jam, tegangan 1,3 volt, arus 30 A dan waktu deposisi 10 detik, 15 detik, 30 detik, dan 60 detik. Morfologi lapisan PANi yang terbentuk di QCM di analisa menggunakan mikroskop optik, pengukuran nilai impedansi dilakukan dengan *impedance analyzer*, dan menghitung ketebalan dengan persamaan Sauerbrey. Hasil penelitian menunjukkan semakin lama waktu deposisi menyebabkan lapisan PANi yang terbentuk lebih tebal dan morfologi permukaan semakin merata. Nilai ketebalan lapisan PANi yang terdeposisi adalah di atur dari 3,20 μm hingga 32,21 μm . Nilai impedansi sebanding dengan waktu deposisi lapisan PANi yang terdeposisi pada permukaan polistirena/QCM. Semakin lama waktu deposisi maka nilai impedansi lapisan PANi semakin besar. Nilai impedansi yang besar memberikan efek redaman yang besar dan membebani di QCM.

Kata Kunci: QCM, PANi, waktu deposisi, nilai impedansi, ketebalan



THE INFLUENCE OF DEPOSITION DURATION TOWARD THE THICKNESS AND IMPEDANCE VALUE OF POLYANILINE (PANI) FILM WITH EVAPORATION METHODS

ABSTRACT

Quartz Crystal Microbalance (QCM) works by utilizing the principle of frequency shift in quartz crystal due to the presence of deposition mass on the surface of a crystal. The QCM sensors can be utilized as an aroma gas sensor. To be applied as a sensor, QCM must be coated first. The material used for coating is polyaniline (PANI). This research used evaporation method for deposition of PANi film coating on polystyrene / QCM surface with a time of vacuum was 1 hour, voltage of 1.3 volts, the current of 30 A and time to deposition of 10 second, 15 second, 30 second, and 60 second. The morphology of PANi film formed in QCM was analyzed using a microscope optic, while measurement impedance value used an impedance analyzer and measurement of the thickness using Sauerbrey formula. The result showed that the longer deposition time yield a thicker formed PANi film and the morphology surface is evenly distributed. The depth of PANi film thickness is arranging from 3,20 μm to 32,21 μm . The impedance value is proportional to the deposition duration of PANi film deposition on the polystyrene / QCM surface. The deposition duration of PANi film formed causes greater impedance value. A large impedance value gives a large damping effect and weight on the QCM.

Keywords: QCM, PANi, deposition duration, an impedance value, thickness.



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa pemilik segenap alam semesta. Atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menuntaskan skripsi yang berjudul **Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Ketebalan dan Nilai Impedansi Lapisan Polianilin (PANi) dengan Metode Evaporasi** dengan lancar. Secara umum tulisan ini berisi tentang pengaruh waktu deposisi terhadap lapisan polianilin (PANi) yang terdeposisi dipermukaan *Quartz Crystal Microbalance* atau polistirena.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang disebutkan berikut ini. Tanpa bantuan dan dukungan mereka, penulis tidak akan dapat menyelesaikan skripsi dengan baik dan tepat waktu.

1. Dr. Eng. Masrurroh, S.Si, M.Si dan Ir. Dionysius Joseph Djoko Herry Santjojo, M.Phil.,Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan saran selama proses pelaksanaan penelitian dan penulisan skripsi.
2. Drs.Unggul Pundjung Juswono, M.sc. sebagai dosen pembimbing akademik.
3. Sri Herwiningsih, S.Si, M.App. Sc sebagai dosen penguji.
4. Ibu Nugrahani Primary Putri, S.Si, M.Si yang telah memberikan arahan dalam penelitian.
5. Orang tua dan adik penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan.
6. Mbak Arin, Mbak Tyas, Mas Dika, dan Mbak Sukma yang telah memberikan arahan dalam penelitian dan penggunaan alat.
7. Teman – teman satu kelompok penelitian dan satu Laboratorium Plasma Widya, Maulidiah, Rani, Hera, dan Adib yang telah banyak membantu dalam penelitian.
8. Keluarga besar Jurusan Fisika Universitas Brawijaya.
9. Teman – teman Fisika angkatan 2014 dan keluarga disma Fisika yang telah memberikan dukungan.
10. Sahabat Terbaik Anisya, Dewi Eka, dan Mas Dedi Sukmawan yang telah memberikan dukungan, semangat dan doa dari jauh selama penulis mengerjakan skripsi.

11. Teman teman terbaik selama di Malang Raflesia, Ikta, Dita, Ainin, Anisa Widya, Pramayshella, Mbak Tia, Mbak Ika, Rizqinda, Wuri, Citra, Ida, Nufrida, dan Soenargo yang telah memberikan dukungan dan saran.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan. Harapan yang besar dalam penyusunan skripsi ini adalah mudah-mudahan yang disusun dapat memberikan manfaat.

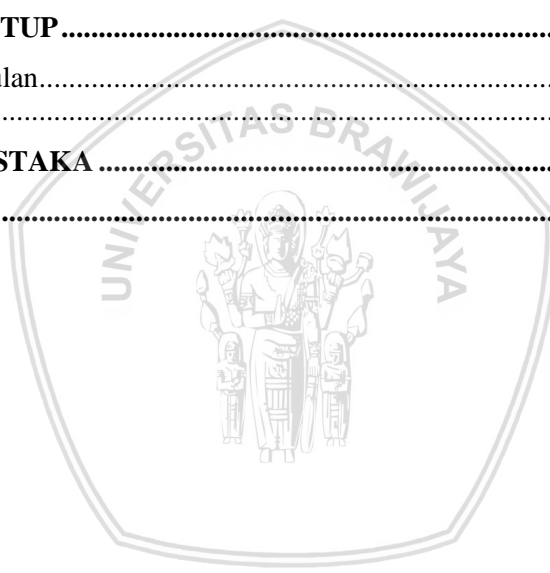
Malang, 3 Juli 2018

Ermitha Yulisetiana



LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Quartz Crystal Microbalance (QCM)	5
2.2 Proses Polimerisasi Oksidasi PANi	7
2.3 Metode Spin Coating Pada Pelapisan Polistirena di QCM	8
2.4 Teknik Evaporasi Pada Deposisi PANi	9
2.5 Pengukuran Nilai Impedansi QCM.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian.....	15
3.3.1 Persiapan Alat.....	15
3.3.2 Persiapan Pembuatan PANi	16
3.3.3 Pembuatan Larutan Polistirena di Permukaan QCM	17
3.3.4 Pelapisan Polistirena Pada Permukaan QCM.....	17
3.3.5. Pelapisan PANi di Permukaan Polistirena/QCM	18
3.3.6. Pengukuran Nilai Impedansi dengan <i>Impedance Analyzer</i>	18
3.3.7. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan PANi	19

3.4 Diagram Alir Penelitian.....	20
3.5 Analisa Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Serbuk PANi Hasil Polimerisasi Oksidasi.....	27
4.2 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Ketebalan Lapisan PANi	29
4.3 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Morfologi Lapisan PANi di Permukaan Polistirena/QCM	32
4.4 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Nilai Impedansi	34
BAB V PENUTUP	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	47



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian – bagian QCM	5
Gambar 2.2 Reaksi protonasi - deprotonasi PANi	7
Gambar 2.3 Sistem vakum deposisi lapisan tipis dengan panas yang sumbernya dari listrik	10
Gambar 2.4 Sirkuit BVD.....	11
Gambar 2.5. Modifikasi sirkuit BVD	12
Gambar 2.6. Grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi pada fasa polimer	13
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian	20
Gambar 3.2 Diagram alir tahapan polimerisasi PANi	22
Gambar 3.3 Diagram alir tahapan sonikasi serbuk PANi	23
Gambar 3.4 Diagram alir proses deposisi polistirena di QCM	24
Gambar 3.5 Diagram alir tahapan deposisi PANi dengan metode evaporasi di permukaan QCM/polistirena	25
Gambar 4.1 Spektra transmitansi pengujian sampel serbuk PANi...	27
Gambar 4.2 Grafik ketebalan terhadap waktu	30
Gambar 4.3 Hasil mikroskop optik perbesaran 100x pada permukaan polistirena/QCM yang dilapisi PANi dengan waktu deposisi	32
Gambar 4.4 Grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi pada fasa polimer	34
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara frekuensi dengan nilai impedansi QCM sebelum dilapisi, lapisan polistirena dan lapisan PANi.....	35
Gambar 4.6 Grafik nilai impedansi lapisan PANi pada permukaan polistirena/QCM.....	37



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data pencocokan vibrasi molekul gugus PANi hasil polimerisasi oksidasi	28
Tabel 4.2 Ketebalan lapisan PANi setiap waktu deposisi	29
Tabel 4.3 Nilai laju deposisi lapisan PANi	31
Tabel 4.4 Perubahan frekuensi di QCM setelah dilapisi PANi	36
Tabel 4.5 Nilai impedansi lapisan PANi	36





DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data ketebalan lapisan PANi di polistirena/QCM	47
Lampiran 2 Data nilai impedansi.....	48
Lampiran 3 Data morfologi permukaan PANi di polistirena/QCM.	53
Lampiran 4 Dokumentasi alat dan bahan	57





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin maju menuntut manusia untuk mengembangkan berbagai macam teknologi. Teknologi modern membutuhkan material baru yang mempunyai sifat-sifat yang lebih baik. Salah satu pengembangan teknologi di bidang sensor yang sedang diteliti yaitu dengan memanfaatkan *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) sebagai sensor. QCM bekerja berdasarkan prinsip pergeseran frekuensi pada kristal kuarsa akibat adanya deposisi massa dipermukaan QCM (Wahyuni dkk., 2012). QCM merupakan sensor yang dapat memproduksi sinyal listrik ketika ada perubahan nilai impedansi akibat adanya penambahan massa lapisan dipermukaannya (Calvo dan Etchenique, 1997).

QCM dapat diaplikasikan sebagai sensor gas aroma. QCM digunakan untuk mendeteksi sejumlah senyawa volatil aromatik. Penggunaan QCM sebagai sensor dikarenakan QCM memiliki lapisan yang sensitif terhadap perubahan massa. Dalam aplikasinya, QCM perlu dilapisi bahan terlebih dahulu untuk meningkatkan kemampuan sensitivitasnya (Fallis, 2013).

Bahan polimer banyak digunakan pada pelapisan di QCM karena kemampuan bahan polimer yang bersifat polar, sehingga dapat meningkatkan kemampuan sensitivitas dan bagus untuk di deposisikan untuk lapisan yang fungsional. Struktur kimia dan fisik lapisan polimer dapat menentukan sensitivitas, kinetika sinyal dari sensor (Fallis, 2013). Pada penelitian ini jenis polimer yang digunakan sebagai bahan pelapisan adalah polianilin (PANi). Hal ini dikarenakan PANi merupakan senyawa polimer yang bersifat polar, sehingga dapat meningkatkan sensitivitas di QCM. Sebelum dilapisi PANi pada permukaan QCM terlebih dahulu dilapisi polistirena untuk meningkatkan sensitivitas dari QCM dan untuk mengikat molekul secara fisik sehingga serbuk PANi dapat terlapisi dengan sempurna di QCM. Serbuk PANi di dapatkan dari proses polimerisasi oksidasi. Proses polimerisasi oksidasi digunakan karena pada proses polimerisasi menggunakan oksidan (ammonium peroksidisulfat) (Maddu dkk., 2008).

Berbagai macam teknik deposisi lapisan tipis yaitu metode spin coating dan metode evaporasi. Teknik deposisi lapisan tipis yang sering digunakan pada bahan serbuk menggunakan metode evaporasi. Metode evaporasi merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan. Keunggulan menggunakan teknik evaporasi pada lapisan tipis yaitu lapisan dapat dideposisikan dengan kecepatan yang tinggi, dapat meningkatkan kemurnian bahan sehingga tidak terjadi pemanasan pada substrat dan bahan dapat di evaporasi sesuai titik didihnya (Savale dan Dler, 2016). Pada metode evaporasi serbuk PANi diuapkan agar uap dari PANi terlapisi di permukaan polistirena/QCM membentuk lapisan PANi. Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada metode evaporasi yaitu waktu dan arus. Pemilihan parameter waktu evaporasi akan berpengaruh terhadap jumlah, ukuran dan morfologi lapisan yang terbentuk. Pada penelitian ini digunakan parameter waktu deposisi karena akan diamati nilai ketebalan, morfologi permukaan yang terbentuk dan nilai impedansi lapisan PANi.

Peneliti sebelumnya telah melakukan deposisi lapisan PANi dengan metode evaporasi di kaca (Fitrilawati dkk., 1996). Pelapisan PANi di permukaan kaca tidak dapat dilakukan perhitungan nilai ketebalan dan pengukuran nilai impedansi, sehingga dikembangkan penelitian menggunakan QCM. Pada penelitian ini, akan dilakukan pelapisan PANi dengan metode evaporasi untuk meningkatkan sensitivitas QCM sebagai sensor gas aroma. Pelapisan PANi dilakukan pada permukaan polistirena/QCM. Dalam penelitian ini, akan di amati pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan dan nilai impedansi lapisan PANi. Pelapisan PANi diharapkan mampu menghasilkan ketebalan lapisan yang seragam, morfologi permukaan yang merata, dan memiliki efek pembebanan yang kecil dilihat dari nilai impedansinya yang kecil sehingga QCM yang dilapisi PANi dapat digunakan sebagai sensor gas aroma.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan lapisan PANi?
2. Bagaimana pengaruh waktu deposisi terhadap morfologi permukaan lapisan PANi yang terbentuk di permukaan polistirena/QCM?
3. Bagaimana pengaruh waktu deposisi terhadap nilai impedansi lapisan PANi?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh waktu deposisi terhadap ketebalan lapisan PANi yang dihitung dengan persamaan Sauerbrey.
2. Mengetahui pengaruh waktu deposisi terhadap morfologi permukaan lapisan PANi yang terbentuk di permukaan polistirena/QCM.
3. Mengetahui pengaruh waktu deposisi terhadap nilai impedansi lapisan PANi yang diukur dengan *impedance analyzer*.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini antara lain:

1. Memberikan pengetahuan mengenai teknik pelapisan PANi pada permukaan polistirena/QCM dengan metode evaporasi parameter waktu.
2. Memberikan informasi mengenai nilai impedansi dan ketebalan lapisan PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM.
3. Memberikan informasi tentang morfologi permukaan lapisan PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Teknik pelapisan PANi pada permukaan polistirena/QCM dengan metode evaporasi menggunakan 4 variasi waktu yaitu 10 detik, 15 detik, 30 detik dan 60 detik.
2. Karakterisasi serbuk PANi menggunakan FTIR.
3. Pengukuran nilai impedansi dengan *impedance analyzer*.
4. Analisa morfologi permukaan dengan mikroskop optik.
5. Perhitungan ketebalan dengan persamaan Sauerbrey.

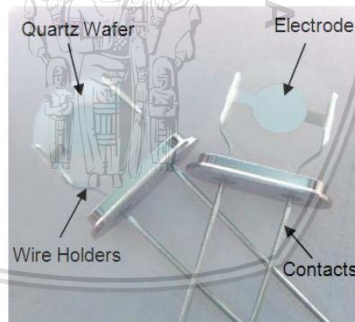


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Quartz Crystal Microbalance (QCM)

Quartz Crystal Microbalance (QCM) merupakan salah satu sensor pengukur massa yang sensitif berdasarkan efek piezo elektrik. QCM terbuat dari bahan silikon dioksida (SiO_2). QCM digunakan pada berbagai aplikasi yaitu dimanfaatkan pengukuran lapisan tipis pada sensor gas, dan sensor kelembaman. QCM menghasilkan gaya mekanik dari efek piezoelektrik. Pada efek piezoelektrik, QCM akan beresonansi pada frekuensi alami dengan umpan balik pada rangkaian osilator. Faktor – faktor yang mempengaruhi frekuensi resonansi yaitu ketebalan lapisan di QCM, densitas kuarsa, penambahan massa yang terdeposisi. Frekuensi resonansi QCM akan berkurang apabila terdapat penambahan massa yang terdeposisi atau teradsorpsi di atas permukaannya. Selektivitas sensor QCM dipengaruhi oleh bahan sensitif yang dilapiskan di permukaannya, sedangkan sensitivitas dipengaruhi oleh ketebalan lapisan tersebut (Jaruwongrungeesee dan Maturos, 2009).



Gambar 2.1. Bagian – bagian QCM (Chunta, 2009).

Menurut Chunta (2009) pada pengaplikasiannya, QCM dapat digunakan untuk menganalisis dan mengukur bahan pada fase gas dan cairan frekuensi resonansinya tergantung pada susunan kimia, ukuran, bentuk, massa dan cara memotong kristal kuarsanya. Pengukuran perubahan frekuensi di kristal kuarsa resonator karena adanya perubahan massa pada fase gas dapat dijelaskan melalui persamaan Sauerbrey:

$$\Delta f = -\frac{2fo^2}{\sqrt{\rho q \times \mu q}} \cdot \frac{\Delta m}{A} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- Δf = perubahan frekuensi (hz)
 Δm = perubahan massa (g)
 fo = frekuensi resonan kristal (hz)
 A = luas permukaan kristal (m^2)
 ρq = densitas kristal ($2,684 \text{ g/cm}^3$)
 μq = modulus kuarsa ($2,947 \times 10^{11} \text{ g/cm.s}^2$)

perhitungan ketebalan dapat dilakukan dengan menurunkan persamaan sauerbrey, dengan mensubstitusikan $\rho a = \frac{\Delta m}{v}$ dan $v = A \cdot \Delta h$ maka persamaan sauerbrey untuk menghitung ketebalan yaitu:

$$\Delta h = -\frac{\Delta f \sqrt{\rho q \mu q}}{2fo^2 \rho a} \quad (2.2)$$

dimana ρa adalah densitas bahan yang terdeposisi, dan Δh merupakan ketebalan lapisan yang terdeposisi.

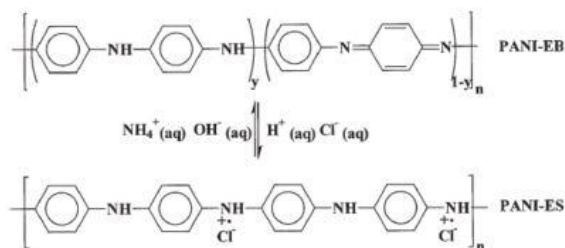
QCM diperoleh dengan cara memotong mineral kuarsa pada sudut pemotongan yaitu $35,25^\circ$ sehingga disebut kristal *AT cut*. QCM merupakan bagian kristal yang tipis diletakkan diantara sepasang elektroda. Ketika energi listrik di aplikasikan pada sepasang elektroda diantara kristal kuarsa maka gaya mekanik akan dihasilkan oleh efek piezoelektrik dan mengalami deformasi geser. Pada deformasi geser, menghasilkan gelombang akustik yang merambat di kristal dengan arah yang tegak lurus dengan permukaan kristal (Ferreira, da-Silva, dan Tomé, 2009).

Efek deformasi geser piezoelektrik menyebabkan kristal kuarsa akan beresonansi pada frekuensi alami dengan umpan balik positif yang melakuai rangkaian osilator. Frekuensi osilasi bergantung dari cara memotong, kondisi temperatur, tekanan, dan kelembaman. Potongan keping kristal mengacu pada sudut pemotongan. Potongan yang digunakan yaitu potongan *AT Cut*. Keunggulan potongan *AT Cut* adalah kristal memiliki frekuensi maksimum yang tidak terlalu tinggi dan koefisien suhu yang cukup baik (Jie, 2006).

Frekuensi sensor QCM berubah ketika adanya efek penambahan massa yang disebabkan kerapatan material pada permukaan sensor. Jika salah satu permukaan sensor memiliki kontak dengan permukaan lapisan, maka terjadi perubahan frekuensi yang disebabkan oleh perubahan massa dan diakibatkan adanya interaksi fisik dan kimia (Johannsmann, 2015).

2.2. Proses Polimerisasi Oksidasi PANi

PANi merupakan jenis polimer yang terbentuk dari gabungan monomer – monomer anilin, memiliki sifat yang mudah disintesis dan PANi merupakan bahan polimer yang bersifat polar. PANi dapat digunakan sebagai lapisan karena bersifat polar sehingga dapat digunakan sebagai lapisan fungsional untuk deposisi lapisan tipis. Pada aplikasinya, PANi dapat dimanfaatkan pada aplikasi sensor kimia khususnya sensor gas. Berdasarkan tingkat oksidasinya, PANi dapat disintesis dalam beberapa bentuk yaitu *leucomeraldine base* yang tereduksi penuh, *emeraldine base* yang teroksidasi setengah dan *pernigraniline base* yang teroksidasi penuh. Pada tiga bentuk ini, *leucomeraldine base* dan *pernigraniline base* memiliki keadaan yang tidak stabil. Bentuk dasar PANi yaitu *emeraldine base* kemudian berubah menjadi *emeraldine salt* melalui asam protonik seperti HCl, sebaliknya bentuk *emeraldine salt* dapat dikembalikan menjadi bentuk *emeraldine base* melalui reaksi reduksi dengan agen reduktan seperti NH_4OH seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Pada serbuk PANi dalam bentuk *emeraldine salt* memiliki sifat senyawa polar yang lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk PANi dalam bentuk *emeraldine base* (Maddu dkk., 2008).



Gambar 2.2. Reaksi protonasi-deprotonasi PANi (Maddu dkk., 2008).

Polimerisasi PANi dapat dioksidasi melalui polimerisasi oksidasi kimia dan polimerisasi elektrokimia. PANi disintesis dengan cara oksidasi kimia dan polimerisasi elektrokimia. PANi disintesis dengan cara oksidasi kimia yaitu dengan mereaksikan anilin dengan Ammonium Peroksidisulfat (APS) pada media larutan asam dan diperoleh dalam bentuk endapan. Dasar dari sintesis PANi adalah pencampuran dalam larutan aquades, antara asam, anilin, dan oksidator. Hasil yang didapatkan adalah emeraldin terprotonasi menjadi garam emeraldin (Stejskal dan Gilbert, 2002).

Menurut Maddu (2008) terdapat beberapa macam metode polimerisasi yaitu metode interfasiyal dengan memanfaatkan perbedaan fasa antara fasa organik yang mengandung monomer anilin+asam dan metode polimerisasi oksidasi yang menggunakan oksidan (ammonium peroksidisulfat). Pada penelitian ini, akan disintesis PANi menggunakan metode polimerisasi oksidasi.

2.3. Metode *Spin Coating* Pada Pelapisan Polistirena di QCM

Polistirena merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan di bidang industri. Polistirena memiliki sifat yang transparan, tahan guncangan, tahan terhadap bahan kimia, dan mudah larut dalam pelarut non polar (Al-bermany, 2011).

Spin coating merupakan teknik deposisi yang mudah digunakan dan menghasilkan lapisan tipis di atas substrat kristal kuarsa, dan kaca. Teknik ini memanfaatkan gaya sentrifugal yang dikontrol kecepatan putarnya. Lapisan yang terbentuk dengan teknik ini dipengaruhi oleh dua variabel yaitu viskositas larutan dan kecepatan putarnya. Teknik ini digunakan pertama kali sejak lima puluh tahun yang lalu. Pada umumnya, material yang digunakan sebagai lapisan tipis berbahan polimer dalam bentuk larutan dengan pelarut yang mudah diuapkan (Gaur dan Rana, 2014).

Terdapat beberapa tahapan dalam proses *spin coating* yaitu:

A. Deposisi

Proses deposisi adalah bahan material dilarutkan pada pelarut, yang ditetaskan pada bahan target dikeadaan diam atau berputar dikecepatan konstan yang rendah.

B. *Spin Up*

Pada proses *spin-up*, substrat telah berputar. Proses *spin-up* merupakan fase saat larutan yang ditetaskan mulai menyebar pada permukaan substrat dengan adanya gaya sentrifugal.

C. *Spin-off*

Pada proses *spin-off* merupakan proses substrat berputar dengan kecepatan yang konstan. Proses *spin-off* merupakan penurunan ketebalan lapisan dari larutan yang ditetaskan sehingga akan dihasilkan ketebalan lapisan yang homogen.

D. Evaporasi

Evaporasi adalah proses *spin-off* berakhir, maka akan terjadi proses penguapan pelarut sehingga pada permukaan substrat akan membentuk lapisan dengan komposisi berupa zat yang terlarut dari larutan yang ditetaskan (Gaur dan Rana, 2014).

2.4. Teknik Evaporasi Pada Deposisi PANi

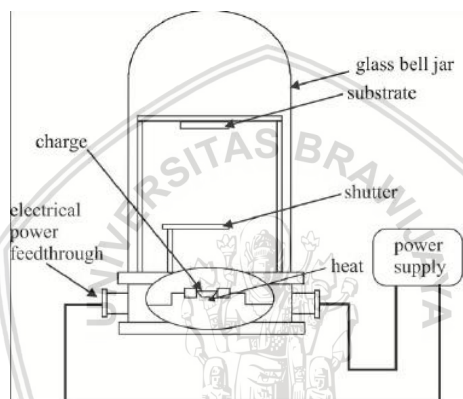
Metode penumbuhan lapisan tipis PANi dapat dilakukan dengan berbagai cara baik secara kimia maupun fisika. Pada penelitian ini digunakan metode evaporasi untuk deposisi lapisan tipis PANi pada permukaan QCM dengan teknik evaporasi. Menurut Sakti (2012) lapisan tipis merupakan lapisan matriks kristal QCM yang dapat meningkatkan sensitivitas QCM sebagai sensor. Lapisan PANi merupakan senyawa yang bersifat polar sehingga cocok untuk digunakan untuk lapisan fungsional di permukaan QCM.

Teknik evaporasi termal menjadi metode yang banyak digunakan dalam teknik deposisi. Keunggulan menggunakan teknik evaporasi adalah lapisan dapat di deposisi dengan kecepatan yang tinggi, energi atom rendah sehingga dapat meninggalkan kerusakan yang sedikit pada permukaan target, lingkungan vakum meminimalisir residu dan meningkatkan kemurnian bahan sehingga tidak terjadi pemanasan pada substrat dan bahan dapat di evaporasi sesuai titik didihnya (Savale dan Dler, 2016).

Metode evaporasi adalah metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan pada ruang hampa. Alat yang digunakan untuk penumbuhan lapisan tipis dengan metode evaporasi disebut evaporator. Pada metode evaporasi, bahan dipanaskan hingga

mencapai fase uap kemudian terkondensasi di atas permukaan lempeng substrat membentuk lapisan tipis (Stuart, 1983).

Sistem evaporasi terdiri dari ruang hampa, pompa mekanik, pompa difusi, dan katup – katup lain (gambar 2.3). Terdapat beberapa metode untuk mengevaporasikan material sumber, yaitu *electric resistance heating*, *induction heating*, dan *electron beam heating*. Evaporasi material dengan listrik merupakan teknik yang paling mudah. Material sumber dipanaskan hingga menjadi uap. Sumber panas berasal dari arus listrik yang dialirkan melalui filamen yang bersentuhan dengan material sumber (Biltoft dkk., 2002).

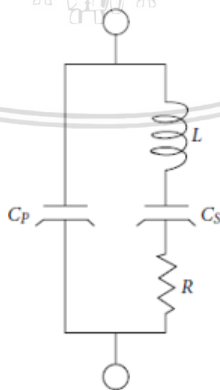


Gambar 2.3. Sistem Vakum Deposisi Lapisan Tipis dengan Panas yang sumbernya dari listrik (Biltoft dkk., 2002).

PANi memiliki nilai tekanan evaporasi ketika di uapkan yaitu sebesar 13,2 atm atau senilai dengan 10^{-4} Tor. Mekanisme deposisi PANi dengan evaporasi dilakukan dengan meletakkan substrat QCM pada holder, posisi elektroda harus berada pada posisi yang datar dan kemudian evaporator di tutup dengan penutup evaporator. Proses vakum dapat dilaksanakan dengan menggunakan pompa vakum selama 1 jam, kemudian evaporator vakum, *power supply* dan saklar dihidupkan. Kemudian dilakukan pembacaan arus dan tegangan nya (Yadav dkk., 2007).

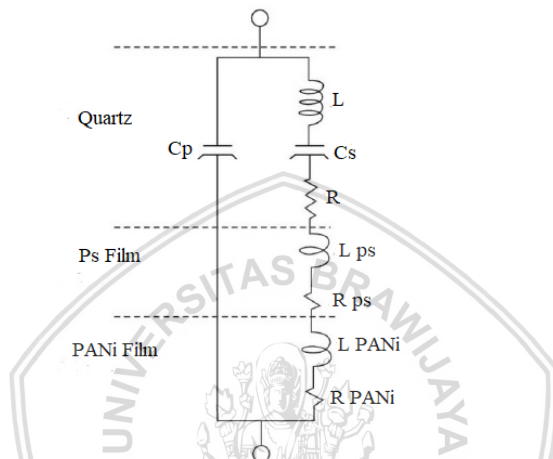
2.5. Pengukuran Nilai Impedansi QCM

Sensor QCM biasanya terbuat dari bahan piezoelektrik, yang berbentuk piringan bundar dan terdapat elektroda pada masing-masing permukaannya. Selama eksitasi (mekanik atau elektrik) dapat terjadi gelombang akustik pada QCM. Parameter-parameter yang terdapat pada impedansi QCM ditunjukkan dengan sirkuit *Butterworth-Van Dyke (BVD)* pada gambar 2.4. Sirkuit BVD menggambarkan perilaku resonansi listrik pada kristal QCM. Bentuk sirkuit dapat dimodifikasi untuk QCM yang terbebani oleh lapisan polistirena/QCM pada gambar 2.5. Terdapat 4 elemen pada sirkuit BVD yaitu elemen tunggal, kapasitansi paralel C_p yang menunjukkan jumlah kapasitansi dielektrik kristal dan kapasitansi eksternal yang terhubung dengan instrumentasi. Pada kapasitansi paralel C_p terdapat jumlah kapasitansi elektrode, holder dan konektor kristal kuarsa. Pada cabang sebelah kanan terdapat 3 elemen yang menunjukkan perubahan pergeseran kristal karena adanya pembebanan massa yaitu induktor (L), kapasitor seri (C_s), dan resistor (R). Induktor (L) menunjukkan komponen inersia osilasi yang berhubungan dengan vibrasi kristal sehingga terjadi pergeseran frekuensi dan efek pembebanan akibat perubahan massa di kristal kuarsa. Kapasitor seri C_s menunjukkan energi yang tersimpan saat osilasi. Resistor (R) menunjukkan energi disipasi (energi yang dikeluarkan) yang berasal dari struktur kristal dan kontak medium dengan kristal. (Kanazawa dan Cho, 2009).



Gambar 2.4 Sirkuit *Butterworth - Van Dyke (BVD)* (Kanazawa dan Cho, 2009).

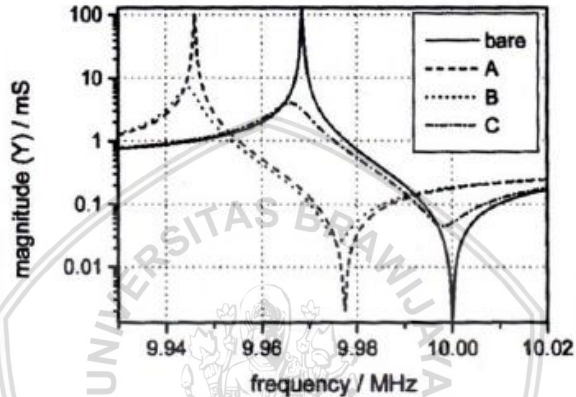
Bentuk sirkuit BVD dapat dimodifikasi untuk QCM yang terbebani oleh lapisan. Elemen yang ditambahkan pada cabang bagian kanan di gambar 2.5. Pada bagian atas menunjukkan kuarsa tanpa beban dan bagian bawah menunjukkan perubahan induktansi dan resistansi selama pembebanan dari lapisan (Kanazawa dan Cho, 2009).



Gambar 2.5. Modifikasi Sirkuit *Butterworth-Van Dyke* (BVD) (Kanazawa dan Cho, 2009).

QCM yang dideposisi PANi dapat digunakan sebagai sensor apabila massa lapisan yang terdeposisi tidak memberikan efek pembebanan namun memberikan sifat kekakuan pada QCM. Ketika lapisan yang terdeposisi memberikan efek pembebanan maka getaran yang terjadi pada QCM akan teredam.

Menurut Behling (1999) nilai impedansi bahan polimer dipengaruhi oleh grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi seperti pada gambar 2.6. Nilai impedansi yang tidak memberikan efek pembebanan apabila nilai impedansinya tidak melebihi 100Ω . Nilai impedansi yang besar dapat disebabkan permukaan lapisan tidak merata dan terdapat gumpalan - gumpalan. Efek pembebanan yang terlalu besar dapat menyebabkan QCM gagal beresilasi.



Gambar 2.6. Grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi pada fasa polimer (Behling, 1999).



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan November 2017 sampai dengan bulan April 2018. Penelitian ini dilakukan di beberapa tempat yaitu Laboratorium Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, Laboratorium Plasma Jurusan Fisika dan Laboratorium Sensor Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu botol sampel, corong, neraca digital, *impedance analyzer*, pipet tetes, *evaporator*, mikropipet, *oven*, gelas ukur, spatula, *ultrasonic cleaner* dan *magnetic stirrer*, *spin coater*, mortar, mikroskop optik, dan saringan ayakan 350 mesh.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu QCM, aquades, monomer anilin, ammonium peroksidisulfat (APS), HCl, polistirena dan toluena.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian, langkah – langkah yang perlu dilakukan adalah menyiapkan alat – alat dan bahan yang akan digunakan. *Ultrasonic cleaner* digunakan untuk melarutkan butiran polistirena dalam larutan toluena. *Spin coater* digunakan untuk mendeposisikan polistirena di permukaan QCM. Selanjutnya, *evaporator* merupakan alat yang digunakan untuk melapiskan PANi pada permukaan QCM. *Impedance analyzer* digunakan untuk mengukur nilai impedansi QCM sebelum dan setelah dilapisi. Mikroskop optik untuk melihat morfologi permukaan lapisan PANi yang telah terdeposisi.

3.3.2. Persiapan Pembuatan PANi

Bahan yang digunakan untuk deposisi permukaan QCM dalam penelitian ini adalah PANi. PANi yang digunakan dalam bentuk serbuk. Serbuk PANi diperoleh dari hasil polimerisasi oksidasi. Langkah - langkah untuk pembuatan PANi adalah larutan HCl 2 M di campurkan dengan anilin ke dalam gelas kimia kemudian APS di campurkan dengan aquades. Selanjutnya, kedua larutan di diamkan selama 1 jam kemudian di *magnetic stirrer* selama 1 jam sampai larutan berwarna hijau kehitam – hitaman. Setelah larutan berwarna hijau kehitam – hitaman larutan dicuci dan disaring menggunakan HCl dan aseton. Setelah didapatkan hasil endapan PANi dilakukan pengeringan dengan *oven* selama 5 jam. Ketika proses pengeringan selesai didapatkan hasil serbuk PANi. Kemudian serbuk PANi dimortar dan di ayak dengan ayakan 350 *mesh* agar dihasilkan serbuk PANi yang halus.

PANi yang akan digunakan untuk evaporasi di sonikasi terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk memperkecil ukuran partikel serbuk PANi. Langkah kerja proses sonikasi yaitu serbuk PANi dimasukkan ke dalam gelas aquades dan di *magnetic stirrer* selama 1 jam kemudian di *ultrasonic cleaner* selama 4 jam. Setelah proses sonikasi, dilakukan proses penyaringan sehingga didapatkan endapan PANi. Kemudian endapan PANi dikeringkan selama 5 jam. Ketika proses pengeringan selesai didapatkan hasil serbuk PANi. Serbuk PANi kemudian dimortar dan di ayak dengan ayakan 350 *mesh*. Hasil dari serbuk polianilin siap untuk di karakterisasi menggunakan uji FTIR dan di deposisi dengan metode evaporasi. Serbuk PANi yang akan digunakan untuk proses evaporasi ditimbang sebanyak 0,005 gram menggunakan neraca digital dan disimpan dalam aluminium foil. Lapisan PANi digunakan sebagai lapisan kedua di atas permukaan polistirena/QCM.

3.3.3. Pembuatan Larutan Polistirena di Permukaan QCM

Konsentrasi larutan polistirena yang digunakan pada penelitian ini yaitu konsentrasi 6%. Pembuatan polistirena dengan konsentrasi 6% menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{konsentrasi terlarut} = \frac{m_t (\text{gram})}{m_t (\text{gram}) + m_p}$$

$$\text{konsentrasi terlarut} = \frac{m_t (\text{gram})}{m_t (\text{gram}) + [v_p (\text{ml}) \times \rho_t (\frac{\text{gram}}{\text{ml}})]} \quad (3.1)$$

Keterangan :

m_t = massa polistirena

v_p = volume pelarut

m_p = massa pelarut

ρ_t = massa jenis polistirena

Berdasarkan persamaan 3.1 polistirena yang digunakan sebanyak 0,06 gram dan toluen sebanyak 1 ml. Polistirena dan toluen dimasukkan ke dalam botol sampel dan dilarutkan dengan bantuan *ultrasonic cleaner*.

3.3.4. Pelapisan Polistirena Pada Permukaan QCM

Pelapisan polistirena pada permukaan QCM menggunakan metode *spin coating*. Hal pertama yang dilakukan adalah QCM dimasukkan ke *spin coating*. Kemudian diatur waktu putar pertama 5 detik dan waktu putar kedua 60 detik, serta diatur kecepatan putar pertama 500 rpm dan kecepatan kedua 3000 rpm. Setelah itu, larutan polistirena diteteskan di bagian tengah elektroda QCM sebanyak 50 μl menggunakan *mikropipet* pada saat *spin coater* berputar di kecepatan 3000 rpm. Pelapisan dilakukan pada satu sisi permukaan QCM. QCM yang sudah terlapisi polistirena di *oven* selama 1 jam dengan suhu 100°C agar meratakan lapisan yang terdeposisi dan menghilangkan uap air dan pelarut. Pemilihan suhu 100 °C karena titik leleh dari polistirena sekitar 82°C - 103 °C. Sebelum dan sesudah dilapisi

polistirena QCM dilakukan pengukuran impedansi menggunakan *impedance analyzer*. Kemudian didapatkan nilai frekuensi dan nilai impedansi pada lapisan polistirena di permukaan QCM.

3.3.5. Pelapisan PANi di Permukaan Polistirena/QCM

Pelapisan PANi di permukaan polistirena/QCM menggunakan metode evaporasi. Massa PANi yang digunakan sebanyak 0,005 gram. Langkah pertama yang dilakukan adalah kaca penutup dibersihkan, multimeter dan *hot plate* dipasang, dan jarak antara serbuk PANi dengan holder di atur sejauh 1,5 cm. Tahapan deposisi serbuk PANi yaitu dengan meletakkan QCM yang telah terlapis polistirena pada holder, posisi elektroda harus berada pada posisi yang datar. Kemudian serbuk PANi yang telah ditimbang dimasukkan ke krusibel dan kemudian evaporator ditutup dengan penutup evaporator. Selanjutnya dilakukan proses vakum selama 1 jam. Setelah itu, saklar dan *power supply* dihidupkan. Kemudian arus dan tegangan di naikan secara perlahan – lahan sampai batas arus 30 A dan tegangan 1,3 V. Setelah itu penutup kaca *shutter* dibuka dan di variasi waktu deposisi sesuai dengan ketentuan awal yaitu 10 detik, 15 detik, 30 detik, dan 60 detik. Tahap akhir deposisi adalah dengan mengecilkan evaporator secara perlahan kemudian *power supply*, saklar, dan pompa vakum dimatikan. Selanjutnya, lapisan PANi yang telah terdeposisi di permukaan polistirena/QCM dipanaskan ke dalam oven selama 1 jam dengan suhu 100°C. Pemilihan suhu sebesar 100°C berkaitan dengan titik leleh PANi yaitu 116°C. Kemudian lapisan PANi yang telah terdeposisi di permukaan polistirena/QCM diukur nilai impedansinya menggunakan *impedance analyzer* dan dihitung ketebalannya dengan persamaan Sauerbrey.

3.3.6. Pengukuran Nilai Impedansi dengan *Impedance Analyzer*

Pengukuran nilai impedansi digunakan alat *impedance analyzer*. Pengukuran impedansi dilakukan pada QCM sebelum dilapisi dan QCM yang telah dideposisi dengan PANi. Langkah – langkah pengukuran impedansi yaitu pertama penentuan kalibrasi alat dengan frekuensi 10 MHz kemudian QCM dijepit dengan pada probe dan dilakukan pengukuran sehingga didapatkan hasil nilai impedansinya. Pada analisa nilai impedansi dari lapisan yang terdeposisi di atas permukaan QCM, dapat dilihat dari nilai impedansi

yang diukur menggunakan *impedance analyzer*. Nilai impedansi ini dianalisis melalui grafik hubungan antara frekuensi dengan impedansi.

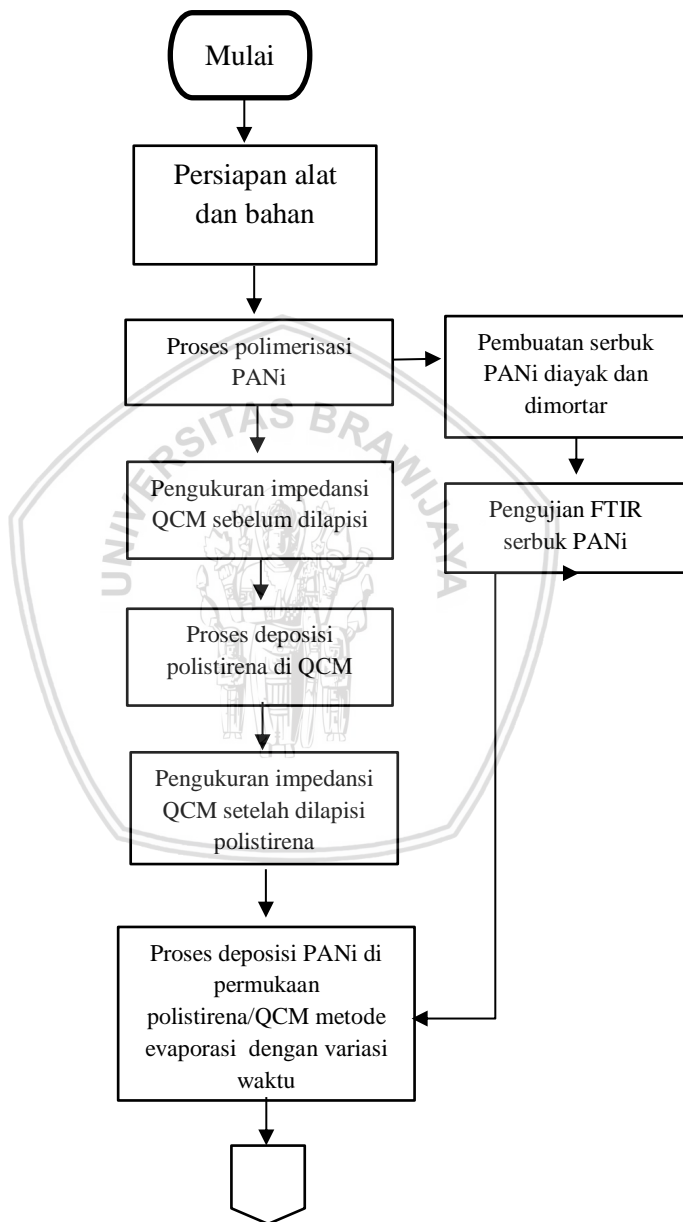
3.3.7. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan PANi

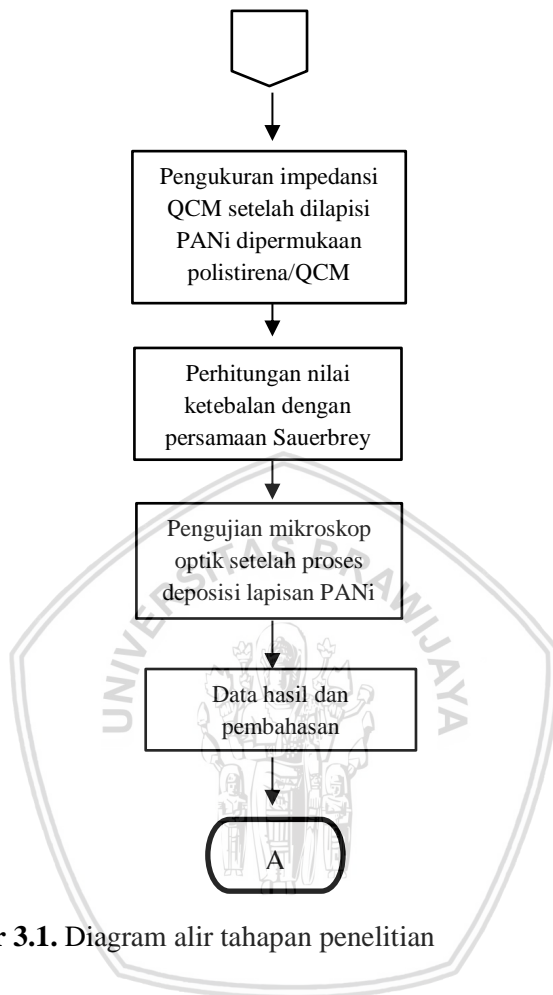
Morfologi permukaan lapisan PANi dapat di amati menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x. Pengamatan morfologi permukaan lapisan PANi bertujuan untuk melihat pengaruh waktu deposisi terhadap persebaran lapisan PANi di permukaan polistirena/QCM dengan metode evaporasi.



3.4. Diagram Alir Penelitian

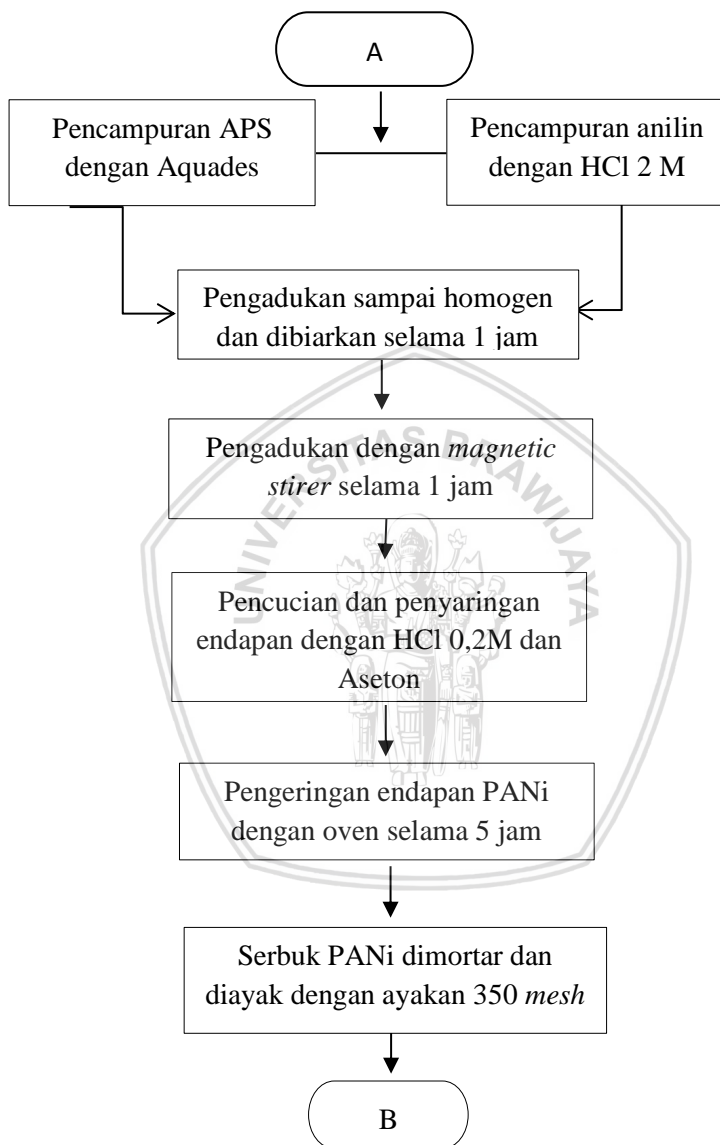
3.4.1 Tahapan Penelitian



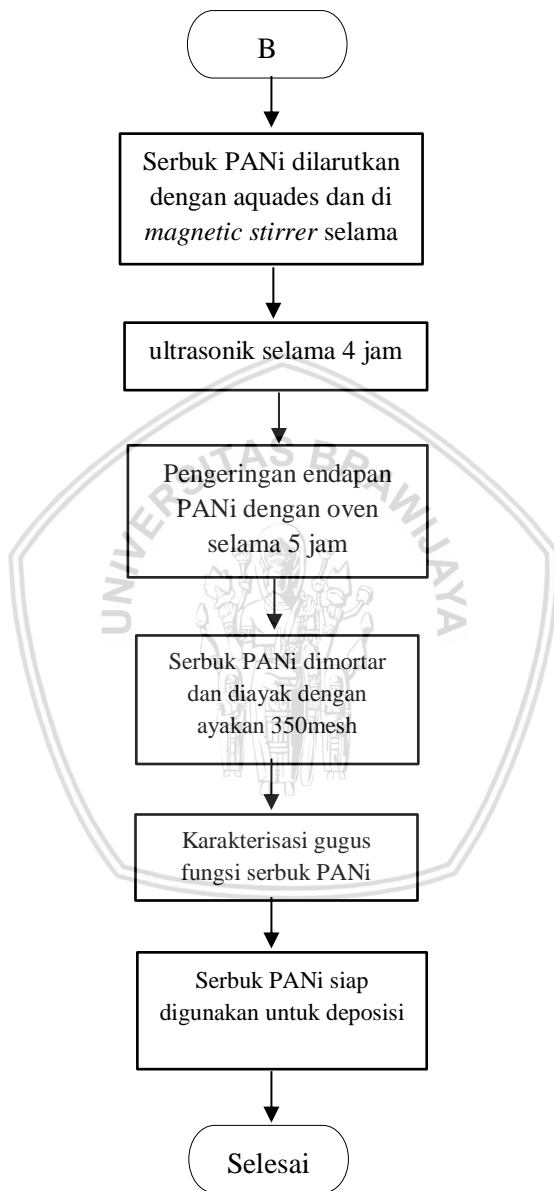


Gambar 3.1. Diagram alir tahapan penelitian

3.4.2. Diagram Alir Tahapan Polimerisasi Oksidasi PANi

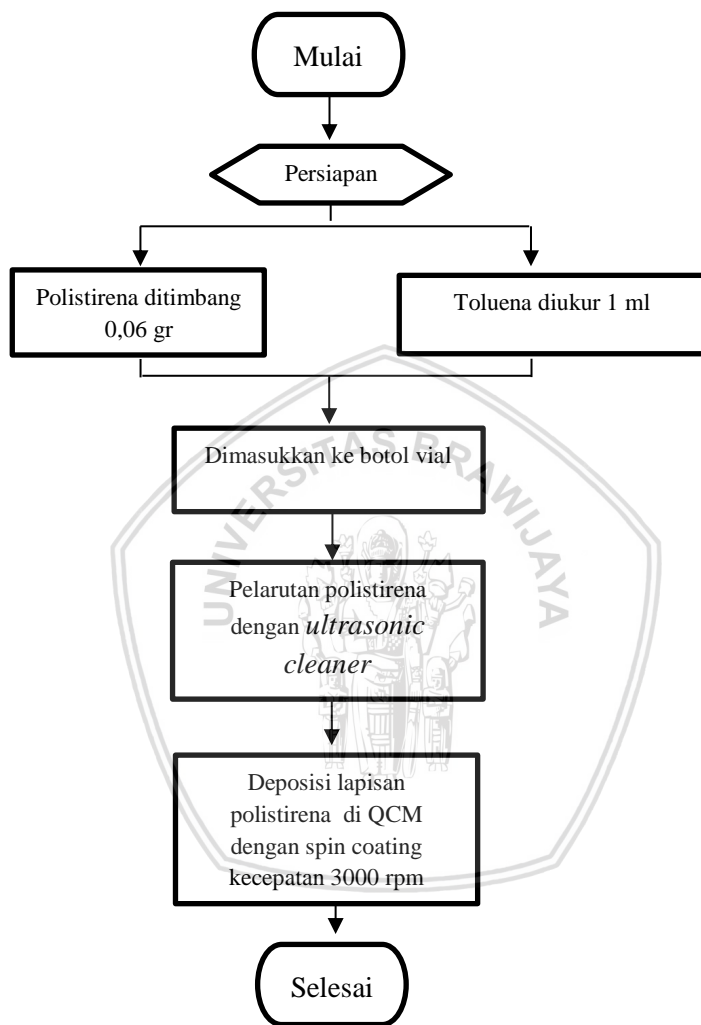


3.4.3. Diagram Alir Tahapan Sonikasi Serbuk PANi



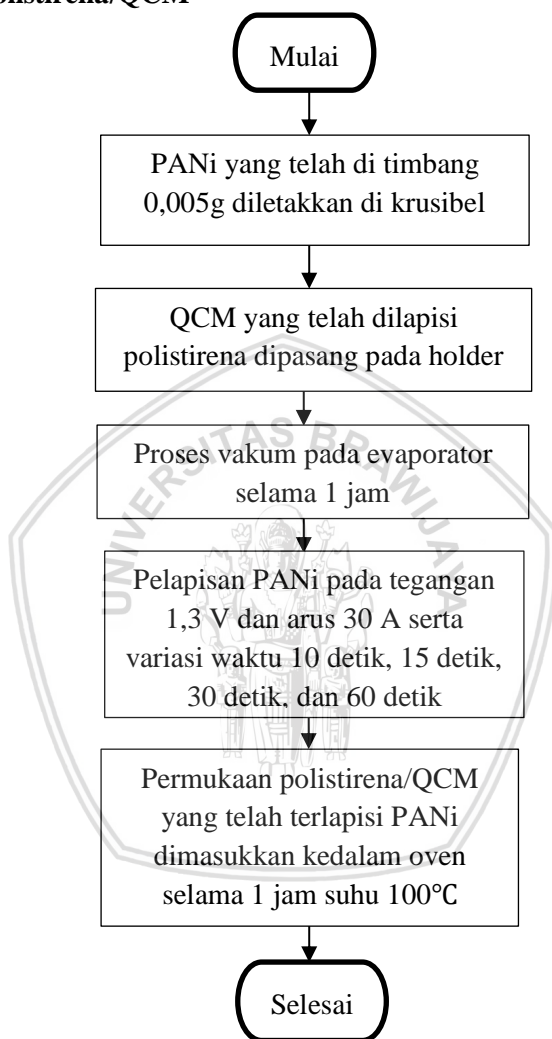
Gambar 3.2. Diagram alir tahapan sonikasi serbuk PANi

3.4.4. Diagram Alir Proses Deposisi Polistirena di Permukaan QCM



Gambar 3.4. Tahapan deposisi polistirena di QCM

3.4.5. Diagram Alir Tahapan Deposisi PANi di Permukaan Polistirena/QCM



Gambar 3.5. Tahapan deposisi lapisan PANi dengan metode evaporasi

3.5. Analisa Data

Analisa ketebalan lapisan dilakukan dengan penurunan persamaan Sauerbrey dibawah ini,

$$\Delta f = -\frac{2fo^2}{A\sqrt{\rho q \mu q}} \Delta m \quad (3.2)$$

atau

$$\Delta m = -\frac{A\sqrt{\rho q \mu q}}{2fo^2} \Delta f \quad (3.3)$$

Dengan $\rho a = \frac{\Delta m}{V}$ dan $V = A \cdot \Delta h$, sehingga persamaan Sauerbrey menjadi

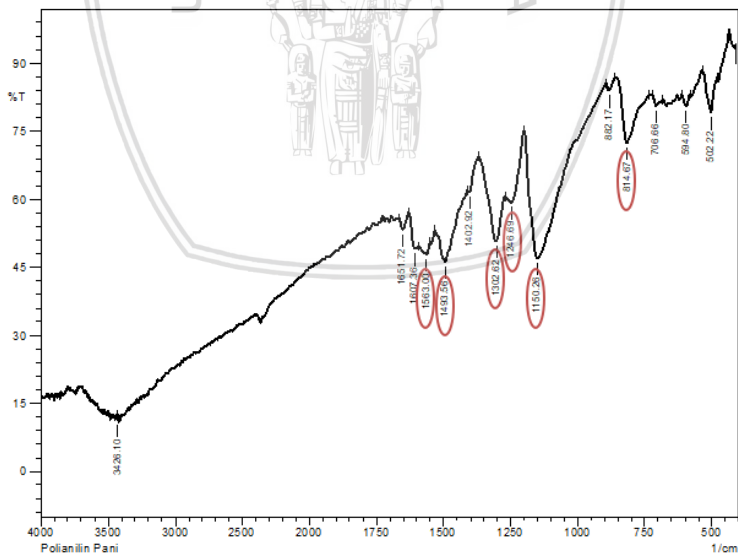
$$\Delta h = -\frac{\Delta f \sqrt{\rho q \mu q}}{2fo^2 \rho a} \quad (3.4)$$

Dimana ρa adalah densitas material yang terdeposisi. Pada persamaan (3.3) digunakan untuk menghitung massa yang terdeposisi diatas permukaan QCM dan persamaan (3.4) digunakan untuk menghitung ketebalan lapisan yang terbentuk diatas permukaan QCM. Densitas dari QCM adalah $2,648 \text{ g/cm}^3$, densitas polistirena $1,05 \text{ g/cm}^3$, dan densitas PANi $1,44 \text{ g/cm}^3$. Analisa nilai impedansi pada lapisan yang terdeposisi di atas permukaan QCM dapat dilihat dari nilai impedansi yang terukur menggunakan *impedance analyzer*. Nilai impedansi di analisa berdasarkan grafik hubungan antara frekuensi dengan impedansi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Gugus Fungsi Serbuk PANi Hasil Polimerisasi Oksidasi

Uji spektroskopi inframerah digunakan untuk melihat gugus fungsi dari serbuk PANi hasil polimerisasi oksidasi. Prinsip FTIR memanfaatkan penyerapan gelombang inframerah karena ada vibrasi atom atom sehingga didapatkan jenis ikatan-ikatan antar atom. Pada penyerapan gelombang inframerah menunjukkan karakteristik material tersebut. Hasil karakterisasi serbuk pani terlihat pada gambar 4.1. Berdasarkan gambar 4.1, terlihat beberapa puncak yang terdeteksi dari rentang bilangan gelombang 500 cm^{-1} hingga 1700 cm^{-1} . Puncak – puncak gelombang menjelaskan bahwa terdapat jenis ikatan dan banyaknya ikatan yang terbentuk. Nilai bilangan gelombang yang diperoleh dicocokkan dengan *data base* pada FTIR, sehingga diperoleh jenis ikatan yang terbentuk. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR didapatkan grafik hubungan antara bilangan gelombang dengan % transmitansi.



Gambar. 4.1. Spektra transmitansi pengujian serbuk PANi

Tabel 4.1 Data pencocokan vibrasi gugus fungsi serbuk PANi

Bilangan gelombang (cm^{-1})		Jenis ikatan
Data sheet	Sampel PANi/HCl (Oksidasi)	
1560 – 1650	1563	C=C
1400 – 1500	1493,56	C=N
1250 – 1335	1302,62	C-H
1020 – 1250	1246,69	C-N, C-C
	1150,26	
550–850	814,67	C-H

Keterangan:

Data Sheet : (Winter, 2008).

Uji spektroskopi inframerah digunakan untuk melihat gugus fungsi dari serbuk PANi hasil polimerisasi oksidasi. Pada gambar 4.1. memperlihatkan spektrum transmitansi inframerah pada serbuk PANi dengan pita absorpsi karakteristik yang bersesuaian dengan gugus fungsional PANi. Pada kurva, terlihat bahwa karakteristik polianilin pada bilangan gelombang 1563 cm^{-1} menunjukkan jenis ikatan $\text{C} = \text{C}$ dari cincin quinoid, pada bilangan gelombang $1493,56 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan jenis ikatan $\text{C}=\text{N}$ yang artinya terdapat senyawa imina yang merupakan karakteristik dari PANi. Pada bilangan gelombang $1302,62 \text{ cm}^{-1}$ jenis ikatan C-H yang merupakan senyawa alkana, sedangkan pada bilangan gelombang $1246,69 \text{ cm}^{-1}$ dan $1150,26 \text{ cm}^{-1}$ terdapat jenis ikatan C-N . Hal ini menunjukkan senyawa tersebut adalah senyawa amina yang artinya PANi merupakan polimer konduktif. Pada karakteristik bilangan gelombang $814,67 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi C-H dinyatakan sebagai senyawa aromatik. Hasil karakterisasi gugus fungsi berdasarkan pencocokan vibrasi gugus molekul pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa serbuk PANi memiliki kecocokan dengan vibrasi gugus molekul terhadap *data sheet* sehingga sampel yang dibuat merupakan serbuk PANi.

Menurut Chomari (2011) serbuk PANi hasil polimerisasi oksidasi dapat digunakan apabila terdapat gugus fungsi C=C dari cincin quinoid, C=N, C-H alkana, C-N, dan C-H senyawa aromatik. Serbuk PANi hasil polimerisasi oksidasi dengan dopping HCl menghasilkan serbuk PANi dalam bentuk *emeraldine salt*.

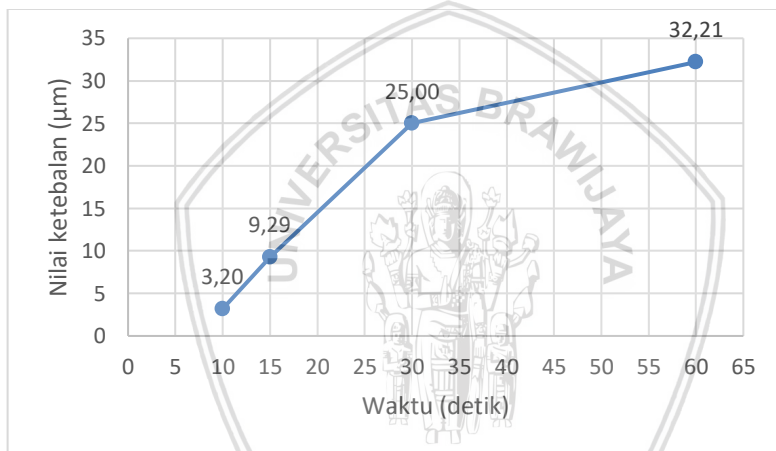
4.2. Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Ketebalan Lapisan PANi

Proses deposisi lapisan PANi di permukaan polistirena/QCM menggunakan metode evaporasi. Parameter yang digunakan pada metode evaporasi adalah parameter waktu. Waktu deposisi mempengaruhi jumlah PANi yang terbentuk dan ketebalan lapisan PANi yang terdeposisi di atas permukaan polistirena/QCM. Lapisan PANi berubah dari fase padatan menjadi uap, dikarenakan sumber panas yang berasal dari aliran listrik di alirkan menuju filamen evaporator. PANi yang berada pada fasa uap bergerak meninggalkan sumber panas menuju substrat yang suhunya lebih rendah yang berada di atas bahan sumber. Semakin lama waktu evaporasi menyebabkan semakin banyaknya padatan PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM. Deposisi lapisan PANi dilakukan dengan menggunakan variasi waktu 10 detik, 15 detik, 30 detik, dan 60 detik. Perhitungan nilai ketebalan menggunakan persamaan Sauerbrey pada persamaan (3.4). Nilai ketebalan lapisan bergantung dari banyaknya massa PANi yang terdeposisi di atas permukaan QCM. Semakin banyak massa PANi yang terdeposisi maka semakin tebal lapisan PANi yang terbentuk. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian yang diperoleh pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Ketebalan lapisan PANi untuk setiap waktu deposisi

Waktu deposisi (s)	Nilai ketebalan lapisan PANi				
	Frekuensi polistirena (Hz)	Frekuensi PANi (Hz)	Δf (Hz)	ΔH PANi (μm)	Δm PANi (μg)
10	9.989.111	9.987.841	1270	3,20	0,89
15	9.978.857	9.975.841	3016	9,29	2,14
30	9.986.825	9.978.667	8158	25,00	5,78
60	9.986.825	9.976.349	10476	32,21	7,40

Berdasarkan tabel 4.2. ditunjukkan bahwa waktu deposisi berbanding lurus dengan perubahan frekuensi (Δf), nilai ketebalan lapisan PANi, dan massa PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM. Semakin lama waktu deposisi menyebabkan perubahan frekuensi semakin besar, nilai ketebalan lapisan PANi semakin tebal, dan semakin banyak massa PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM. Pada tabel 4.2. dapat disajikan dalam bentuk grafik waktu deposisi dengan nilai ketebalan lapisan PANi seperti pada gambar 4.2. untuk memudahkan menganalisa pengaruh waktu deposisi terhadap nilai ketebalan lapisan PANi di permukaan polistirena/QCM.



Gambar. 4.2 Grafik waktu deposisi terhadap nilai ketebalan lapisan PANi

Pada grafik tersebut dijelaskan hubungan antara waktu deposisi dengan ketebalan lapisan PANi. Data yang dihasilkan didapatkan secara linier yang artinya ketebalan lapisan PANi bergantung dengan waktu deposisi yang digunakan, sehingga hubungan antara keduanya adalah berbanding lurus. Semakin lama waktu deposisi menyebabkan lapisan PANi yang terbentuk semakin tebal. Nilai ketebalan lapisan PANi yang paling besar ditunjukkan pada waktu deposisi 60 detik yaitu memiliki nilai ketebalan sebesar 32,21 μm . Hal tersebut terjadi karena saat proses evaporasi serbuk padatan PANi yang berubah

wujud menjadi uap partikel PANi semakin banyak. Semakin tebal lapisan PANi yang terbentuk maka semakin banyak massa PANi yang terdeposisi di permukaan polistirena/QCM. Pada ketebalan lapisan yang terdeposisi sebanding dengan waktu deposisi yang digunakan maka dapat dihitung kelajuan deposisi dari masing-masing waktu deposisi yang diperoleh. Nilai laju deposisi lapisan PANi ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai laju deposisi Lapisan PANi

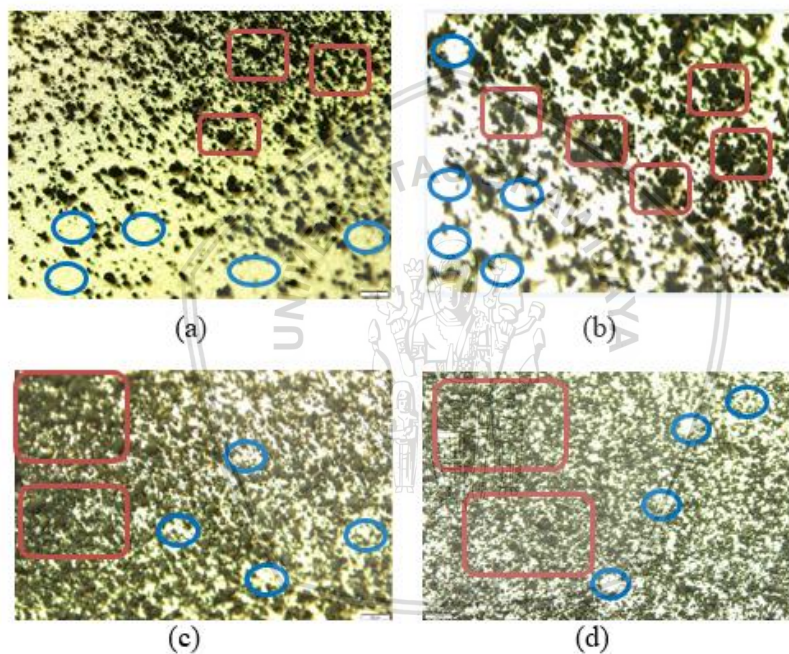
Waktu (s)	Ketebalan lapisan PANi (μm)	Laju deposisi lapisan PANi ($\mu\text{m/s}$)
10	3,90	0,39
15	9,29	0,61
30	25,00	0,83
60	32,21	0,53

Berdasarkan tabel 4.3. ditunjukkan bahwa dengan meningkatnya waktu deposisi maka semakin meningkat laju deposisinya. Namun pada waktu deposisi 60 detik terjadi penurunan laju deposisi dikarenakan sisa massa PANi yang berada pada krusibel telah habis seluruhnya setelah proses deposisi sehingga laju deposisi menurun sedangkan pada waktu deposisi 10 detik, 15 detik, dan 30 detik massa PANi yang ada di krusibel setelah proses deposisi tersisa sedikit.

Menurut Ohring (2002) faktor – faktor yang mempengaruhi nilai ketebalan yang terdeposisi menggunakan metode evaporasi yaitu total massa yang terevaporasi. Pada penelitian ini, total massa yang terevaporasi sangat berpengaruh terhadap nilai ketebalan lapisan. Semakin tebal lapisan PANi maka semakin banyak massa yang terdeposisi pada permukaan polistirena/QCM.

4.3 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Morfologi Lapisan PANi di Permukaan Polistirena/QCM

Morfologi permukaan dilakukan untuk melihat lapisan PANi yang terdepositasi pada permukaan polistirena/QCM berdasarkan parameter waktu deposisinya. Morfologi permukaan dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik. Hasil morfologi permukaan dilihat berdasarkan waktu deposisi lapisan PANi yang terbentuk di permukaan polistirena/QCM. Perbesaran yang digunakan yaitu 100x karena terlihat lebih jelas.



Gambar 4.3. Hasil mikroskop optik perbesaran 100x di permukaan polistirena/QCM yang dilapisi PANi dengan waktu deposisi a). 10 detik, b). 15 detik, c). 30 detik, d). 60 detik.

Keterangan : lingkaran biru = bagian yang tidak terdepositasi
kotak merah = bagian yang menggumpal (aglomerasi)

Hasil citra mikroskop optik menunjukkan adanya perbedaan pada permukaan QCM untuk setiap waktu deposisi PANi. Pada gambar 4.3. terlihat bahwa permukaan QCM didominasi dengan warna hijau kehitam - hitaman yang merupakan warna dari lapisan PANi. Namun jika diperhatikan berturut-turut pada gambar 4.3 a, b, c, dan d ditunjukkan bahwa semakin lama waktu yang terdeposisi maka semakin banyak lapisan PANi yang terdeposisi pada permukaan polistirena/QCM. Lapisan PANi yang terlihat menggumpal ditunjukkan dengan gambar kotak merah dan bagian yang tidak terdeposisi ditunjukkan dengan lingkaran biru.

Pada gambar 4.3 a dengan waktu 10 detik didominasi warna kuning kusam yang merupakan warna alami permukaan polistirena terlihat bahwa lapisan PANi yang terdeposisi tidak merata dibagian tengah permukaan polistirena/QCM namun hanya terdeposisi dibagian pinggir saja yang ditunjukkan pada lingkaran berwarna merah. Pada gambar 4.3 a terlihat bahwa lapisan PANi terdapat aglomerasi (penggumpalan) di pinggir – pinggir permukaan polistirena/QCM dan masih adanya rongga - rongga sehingga lapisan PANi tidak menyebar merata, hal ini dikarenakan lapisan PANi tidak sepenuhnya terikat dengan permukaan polistirena/QCM.

Pada gambar 4.3 b untuk waktu deposisi 15 detik terlihat bahwa lapisan PANi tidak merata di semua bagian yang terdeposisi. Hal ini ditunjukkan pada lingkaran berwarna biru yang menunjukkan masih terdapat rongga – rongga pada lapisan PANi dengan waktu 15 detik. Terjadi penggumpalan (aglomerasi) pada bagian-bagian pinggir permukaan yang terdeposisi.

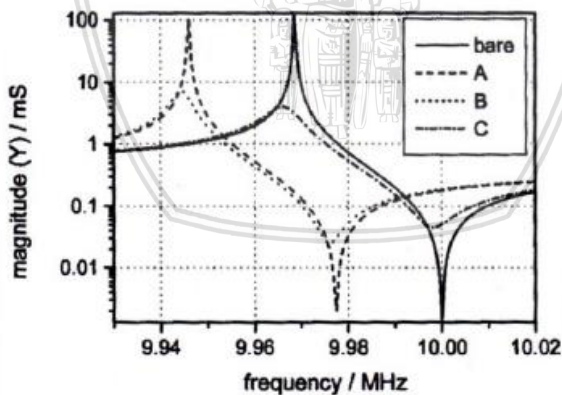
Pada gambar 4.3 c dengan waktu deposisi 30 detik lapisan PANi sudah merata di beberapa bagian namun terjadi penumpukkan di beberapa bagian. Hal ini disebabkan karena terjadi aglomerasi di lapisan PANi yang terdeposisi. Semakin banyak terjadinya penggumpalan (aglomerasi) menyebabkan semakin banyak massa PANi yang terdeposisi namun pada permukaan masih terdapat rongga – rongga di beberapa bagian dikarenakan lapisan PANi tidak menempel secara sempurna.

Pada gambar 4.3 d dengan waktu deposisi 60 detik terlihat bahwa lapisan PANi telah terdeposisi cukup merata tetapi ketebalan lapisan tidak merata pada setiap titik. Terjadi penggumpalan lapisan PANi di beberapa bagian dan masih terdapat rongga – rongga pada lapisan PANi dengan waktu deposisi 60 detik.

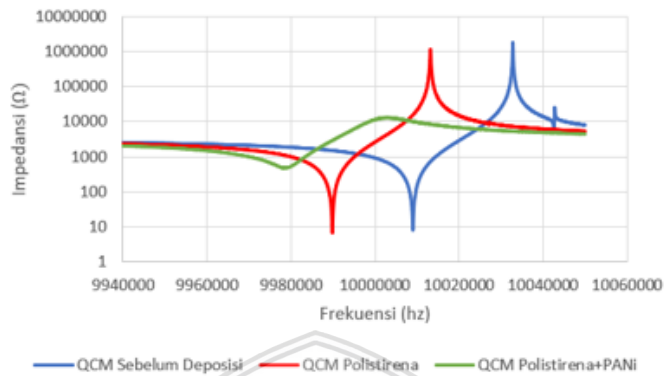
Kepekatan warna hijau kehitam-hitaman menunjukkan banyaknya partikel PANi yang terdeposisi diatas permukaan polistirena/QCM, semakin banyak warna hijau kehitam-hitaman menunjukkan semakin banyak partikel PANi yang terdeposisi maka semakin banyak pula massa yang terdeposisi di atas permukaan QCM. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan PANi yang terbentuk maka semakin tebal.

4.4 Pengaruh Waktu Deposisi Terhadap Nilai Impedansi

Pengukuran nilai impedansi digunakan untuk mengetahui nilai impedansi dari bahan yang dilapisi di QCM. Pengukuran impedansi menggunakan alat *impedance analyzer*. Hasil impedansi untuk QCM yang belum dilapisi dengan QCM yang telah dideposisi polistirena dan dideposisi PANi ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi pada fasa polimer (Behling,1999).



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara frekuensi dengan nilai impedansi QCM sebelum dideposisi, lapisan polistirena dan PANi

Berdasarkan grafik hubungan frekuensi dengan impedansi terlihat bahwa kurva resonansi pada QCM sebelum dideposisi dan QCM setelah dilapisi polistirena terlihat puncaknya menurun tajam sesuai dengan nilai hambatan yang kecil dan berosilasi sedikit teredam sedangkan kurva datar yang lebar pada QCM setelah dilapisi PANi pada permukaan polistirena/QCM menunjukkan bahwa nilai hambatan yang besar sehingga osilasi sistem sangat teredam. Pergeseran frekuensi disebabkan karena adanya penambahan lapisan sehingga massa yang terdeposisi semakin banyak. Semakin lama waktu deposisi maka semakin meningkat perubahan frekuensi (Δf) pada lapisan yang terdeposisi, sehingga nilai impedansi semakin besar. Hal ini dapat ditunjukkan dari hasil penelitian yang diperoleh pada tabel 4.4.

Menurut Behling (1999) pada gambar 4.4 grafik hubungan frekuensi dengan nilai impedansi untuk fasa polimer terjadi pergeseran frekuensi setelah QCM dilapisi suatu bahan. QCM dapat digunakan apabila nilai impedansi yang dihasilkan tidak lebih dari 100Ω , sehingga tidak membebani di QCM.

Tabel 4.4 Perubahan frekuensi di QCM setelah dilapisi PANi

Waktu deposisi (detik)	Frekuensi polistirena (Hz)	Frekuensi PANi (Hz)	Δf (Hz)	Nilai impedansi lapisan PANi (Ω)
10	9.989.111	9.987.841	1.270	360,41
15	9.978.857	9.975.841	3.016	441,68
30	9.986.825	9.978.667	8.158	469,91
60	9.986.825	9.976.349	10.476	891,57

Pada tabel 4.4 ditunjukkan bahwa semakin meningkat waktu deposisi maka semakin bertambah perubahan frekuensi di lapisan. Semakin meningkatnya perubahan frekuensi maka nilai impedansi yang dihasilkan semakin besar. Perubahan frekuensi yang paling besar ditunjukkan pada waktu deposisi 60 detik yang memiliki nilai impedansi pada lapisan PANi yaitu sebesar 891,57 Ω .

Berdasarkan hasil perhitungan (lampiran 2) nilai impedansi lapisan diperoleh dari selisih nilai impedansi total setelah dilapisi PANi dengan sebelum dilapisi polistirena. Pada tabel 4.5 ditunjukkan bahwa lapisan PANi mengalami kenaikan apabila waktu deposisinya bertambah.

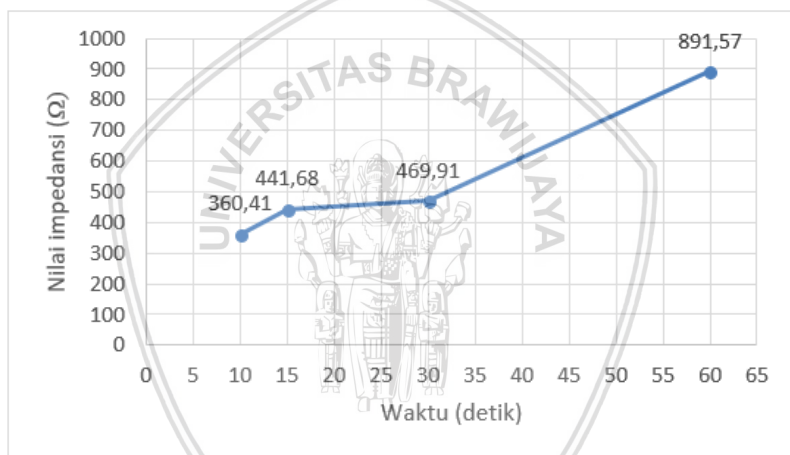
Tabel 4.5. Nilai impedansi lapisan PANi

Waktu deposisi (s)	Nilai impedansi lapisan (Ω)		
	QCM awal	Lapisan polistirena	Lapisan PANi
10	11,15	2,55	360,41
15	7,97	0,14	441,68
30	8,12	0,14	469,91
60	7,97	0,29	891,57

Semakin lama waktu deposisi maka lapisan PANi yang terbentuk semakin banyak sehingga nilai impedansi yang dihasilkan besar. Nilai impedansi yang besar dapat dipengaruhi oleh nilai kerapatan bahan (ρ) dan morfologi permukaan lapisan. Pada lapisan

polistirena memiliki nilai ρ lebih kecil dibandingkan nilai ρ PANi sehingga lapisan polistirena nilai impedansinya lebih kecil dibandingkan dengan lapisan PANi. Pada morfologi permukaan lapisan PANi terlihat lebih banyak gumpalan – gumpalan (aglomerasi) sehingga memiliki nilai impedansi yang besar. Hal ini dikarenakan gumpalan – gumpalan (aglomerasi) pada permukaan lapisan PANi dapat mengakibatkan osilator pada QCM gagal beresilasi.

Informasi pada tabel 4.5 dapat dibuat grafik hubungan waktu deposisi dengan nilai impedansi lapisan PANi, seperti yang disajikan pada gambar 4.6. Pada grafik 4.6 dibuat untuk melihat hubungan waktu dengan nilai impedansi, agar mempermudah menganalisa data yang diperoleh.



Gambar 4.6. Grafik nilai impedansi lapisan PANi pada permukaan polistirena/QCM

Berdasarkan grafik hubungan nilai impedansi dengan waktu deposisi pada lapisan PANi pada permukaan polistirena/QCM terlihat bahwa grafik menunjukkan tren naik. Kenaikan nilai impedansi dikarenakan adanya penambahan komponen resistor (R) dan komponen induktor (L) pada modifikasi sirkuit BVD gambar (2.5). Pada komponen induktor (L) menunjukkan adanya perubahan massa dan pergeseran frekuensi sedangkan komponen resistor (R) menunjukkan energi disipasi. Semakin banyak lapisan yang terbentuk

maka pergeseran perubahan frekuensi meningkat. Pada waktu deposisi 10 detik memiliki nilai impedansi lapisan sebesar 360,41 Ω , waktu 15 detik memiliki nilai impedansi lapisan sebesar 441,68 Ω , waktu 30 detik memiliki nilai impedansi lapisan PANi sebesar 469,91 Ω , sedangkan waktu 60 detik memiliki nilai impedansi lapisan PANi sebesar 891,57 Ω . Nilai impedansi pada lapisan PANi sangat besar berkisar antara 360-900 Ω yang berarti lapisan tersebut memberikan efek redaman yang cukup besar pada QCM. Semakin banyak lapisan PANi yang terdeposisi menyebabkan nilai impedansi lapisan PANi semakin besar. Hal ini menunjukkan energi disipasi yang besar serta semakin banyak massa PANi yang terdeposisi.

Menurut penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan *Zinc Phthalocyanine* (ZnPc) nilai impedansi pada variasi waktu 60 detik yaitu 15,70 Ω (Fitriani dkk., 2014). Nilai impedansi pada bahan yang terdeposisi dilapisan ZnPC memiliki nilai yang kecil. Hal ini karena berat molekul ZnPc sebesar 577,91 g/mol. Jika dibandingkan dengan penelitian ini pada waktu deposisi yang sama, nilai impedansi lapisan PANi sebesar 891,57 Ω . Nilai impedansi yang besar dapat disebabkan karena PANi mempunyai berat molekul yang lebih besar yaitu 726,88 g/mol. Berdasarkan persamaan (3.3) ketebalan lapisan bergantung dari massa yang ter evaporasi yang mempengaruhi nilai impedansi. Semakin banyak massa yang terdeposisi maka nilai impedansi semakin besar. Dapat dikatakan bahwa QCM bekerja berdasarkan prinsip pergeseran frekuensi karena massa yang terdeposisi diatas permukaan QCM, banyaknya massa yang terdeposisi dapat dihitung dengan persamaan Sauerbrey di lihat pada Tabel 4.2.

Pada modifikasi permukaan QCM yang digunakan untuk peningkatan performanya adalah perlu diperhatikan beberapa faktor yaitu modifikasi permukaan QCM tidak memberikan efek redaman QCM. QCM dapat digunakan sebagai sensor selama lapisan di atas permukaannya memberikan sedikit redaman. Apabila QCM memberikan efek redaman yang sangat besar maka QCM tidak dapat digunakan sebagai sensor.

Menurut Behling (1999) QCM dapat digunakan sebagai sensor apabila nilai impedansi yang dihasilkan sebesar 100Ω , sehingga memiliki efek redaman yang kecil. Pada penelitian ini, nilai impedansi yang dihasilkan yaitu di atas 100Ω , sehingga QCM yang terlapis PANi dengan metode evaporasi tidak dapat digunakan sebagai sensor karena lapisan PANi bersifat memberikan efek pembebanan yang besar sehingga QCM gagal berosilasi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disimpulkan bahwa:

1. Semakin lama waktu deposisi maka semakin tebal lapisan PANi yang terbentuk. Nilai ketebalan lapisan yang paling tebal ditunjukkan pada waktu 60 detik yaitu 32,21 μm .
2. Semakin lama waktu deposisi menyebabkan massa PANi yang terdeposisi pada permukaan polistirena/QCM semakin banyak, sehingga lapisan PANi di permukaan polistirena/QCM dapat tersebar cukup merata.
3. Semakin lama waktu deposisi maka semakin bertambah nilai impedansi nya. Nilai impedansi yang besar memberikan efek redaman yang besar dan membebani di QCM. Faktor - faktor yang mempengaruhi nilai impedansi besar adalah berat molekul dari lapisan PANi yang besar, dan morfologi permukaan lapisan yang tidak merata. QCM bersifat membebani tidak cocok digunakan sebagai sensor karena QCM gagal beresilasi.

5.2. Saran

Adapun saran pada penelitian ini yaitu:

1. Sebaiknya menggunakan metode deposisi yang lain karena metode evaporasi di lapisan PANi sangat memberikan efek pembebanan di QCM yang terlalu besar yang dapat dilihat dari nilai impedansinya sehingga membuat QCM gagal beresilasi.
2. Sebaiknya dilakukan penambahan massa pada waktu deposisi 60 detik sehingga laju deposisinya meningkat.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Al-bermany, E. 2011. Study Some Physical Properties of Post-Irradiation for Polystyrene Dissolved in Toluene. *American Journal of Scientific Research*. 29 (29):130–141.
- Behling, C. 1999. *The Non - Gravimetric Response of Thickness Shear Mode Resonators For Sensor Applications*. Disertasi: University Magdeburg.
- Biltoft., Benapfl., dan Swain. 2002. *Chapter 3 : Review of Basic Vacuum Calculations Vacuum Technology*. Canada: Academic Press.
- Chomari, M.N. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi PANi HCl*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Calvo, E. J., dan Etchenique, R. 1997. Quartz Crystal Impedance Studies at 10 MHz of Viscoelastic Liquids and Films. *Faraday Discussions*. 107 (1):141–157.
- Chunta, S. 2009. Lipoprotein Sensor : A Piezoelectric Quartz Crystal Device. *International Journal of Applied Biomedical Engineering*. 2(1):24–32.
- Fallis, A. G. 2013. Development of nanosensor to detect mercury and volatile organic vapors. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53 (9): 68–69.
- Ferreira, G. N. M., da-Silva, A. C., dan Tomé, B. 2009. Acoustic Wave Biosensors: Physical Models and Biological Applications of Quartz Crystal Microbalance. *Journal of Trends in Biotechnology*. 27(12):689–697.
- Fitriani, S. W., Masruroh, dan Sakti, S. P. 2014. Pengaruh Ketebalan Lapisan Zinc Phthalocyanine (ZnPc) di Atas Permukaan Polistirena / QCM Terhadap Sifat Viskoelastis Berdasarkan Nilai Impedansi. *Jurnal mahasiswa Fisika*. 2 (1):676–678.
- Fitrilawati, H. T., Herman, dan Tjia, M. 1996. Karakteristik Film Tipis PANi Hasil Evaporasi Vakum. *Prosiding Simposium Nasional Polimer II* (Vol. 2, hal. 132–138). Bandung: Fisika Institut Teknologi Bandung.
- Gaur, A. dan Rana, D. 2014. Development of Spin Coating System Based on AC Universal Motor for Deposition of Polymer Films. *Journal of Sensors and Instrumentation*. 2 (1):1–8.

- Jaruwongrungrsee, K., dan Maturos, T. 2009. Analysis of Quartz Crystal Microbalance Sensor Array with Circular Flow Chamber. *International Journal of Applied Biomedical Engineering*. 2 (2):50–54.
- Jie, H. 2006. *Technical Background, Applications and Implementation of Quartz Crystal Microbalance Systems*. Canada: University of Jyväskylä Departement of Physics
- Johannsmann, D. 2015. *The Quartz Crystal Microbalance in Soft Matter Research*. Canada: Academic Press.
- Kanazawa, K., dan Cho, N. J. 2009. Quartz Crystal Microbalance as a Sensor to Characterize Macromolecular Assembly Dynamics. *Journal of Sensors*. 29 (1):17.
- Lindner, M., dan Schmid, M. 2017. Thickness Measurement Methods for Physical Vapor Deposited Aluminum Coatings in Packaging Applications: A Review. *Journal of Coatings*. 7(1):9.
- Maddu, A., Wahyudi, S. T., dan Kurniatins, M. 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *Jurnal Nanosains dan nanoteknologi*, 1(2):9
- Ohring, M. 2002. *Material Science Of Thin Film Deposition And Structure Second Edition*. Canada: Academic Press.
- Sakti, S. P., dan Santjojo, D. J. D. H. 2012. Improvement of Biomolecule Immobilization on Polystyrene Surface by Increasing Surface Roughness. *Journal of Biosensors and Bioelectronics*. 3(3):3–7.
- Savale, P. A., dan Dler, J. A. 2016. Thin Film Deposition Processes. *International Journal of Modern Physics and Applications*. 1(4):1–8.
- Stejskal, J., dan Gilbert, R. G. 2002. Polyaniline Preparation Of A Conducting Polymer. *International Journal of Pure and Applied Chemistry*. 74(5):857-867.
- Stuart, R. 1983. Vacuum technology, thin films, and sputtering: An introduction. Canada: Academic Press.
- Wahyuni, F., Sakti, S. P., Juswono, U. P., Irawati, F., dan Chabibah, N. 2012. Desain Konstruksi Sel untuk Immunosensor Berbasis Quartz Crystal Microbalance (QCM). *Jurnal Fisika Universitas Brawijaya*. 1(4):2–3.

- Winter, A. 2008. *Organic Chemistry I - Workbook for Dummies*. Canada: Willey Publisher Inc.
- Yadav, J. B., Patil, R. B., Puri, R. K., dan Puri, V. 2007. Optical Properties of The Chopped and Non Chopped Vacuum Evaporated Polyaniline Thin Film. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 353 (52–54):491–496.



Halaman ini sengaja dikosongkan

